

Recherches expérimentales sur l'influence que les changements dans la pression barométrique exercent sur les phénomènes de la vie;

PAR M. P. BERT.

« Dans la première Note que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie sur ce sujet (voir *Comptes rendus*, t. LXXIII, p. 213), il a été question de faits relatifs à la mort d'animaux asphyxiés en vases clos, sous des pressions inférieures à la pression atmosphérique; je parlerai aujourd'hui de la mort dans l'air confiné sous des pressions supérieures, et j'indiquerai les conséquences immédiates qu'on peut tirer de ces deux séries de recherches.

» Les animaux mis en expériences étaient des moineaux francs, des rats et des grenouilles; le vase où ils étaient renfermés avait la capacité d'un litre; il me fallait environ quinze minutes pour y obtenir une pression de 9 atmosphères.

» L'augmentation de la pression, si rapidement qu'on la produisît, ne paraissait exercer sur l'animal presque aucune impression; on voyait seulement la respiration se ralentir jusqu'au moment où commençaient les phénomènes propres à l'asphyxie; ceux-ci ne semblaient avoir rien de particulier, et l'animal succombait sans convulsions, avec une température interne de 22 à 27 degrés, c'est-à-dire à peine supérieure à celle de l'air ambiant.

» Il est bien évident que l'animal en expérience avait à sa disposition des quantités d'air, et par conséquent d'oxygène, proportionnelles aux pressions employées, et cependant il mourait à peu près dans le même temps, quelles que fussent ces pressions (environ trois heures pour les moineaux). En outre, si, alors que se manifestaient les symptômes de l'asphyxie, on augmentait la pression en injectant dans le récipient de l'air pur, l'animal n'en était nullement soulagé, malgré la nouvelle quantité d'oxygène qu'on lui fournissait ainsi. Au contraire, il se remettait rapidement lorsqu'on laissait échapper de l'air, diminuant ainsi la pression sans changer la composition de l'atmosphère qu'il respirait. J'expliquerai plus loin ces résultats, en apparence singuliers.

» Après la mort de l'animal on trouvait, si la pression était supérieure à 2 atmosphères, le sang très-rouge non-seulement dans les artères, mais dans les veines, et, si l'on avait dépassé 5 atmosphères, de nombreuses bulles de gaz dans les cavités droites du cœur, gaz qui ne s'était dégagé qu'au rétablissement de la pression normale.

» On peut impunément ramener un rat ou un moineau, en quelques secondes, de 7 ou 8 atmosphères à la pression normale. Le rat en paraît à peine impressionné; l'oiseau est, pendant un moment, fort tourmenté par la dilatation subite de ses sacs pulmonaires, mais il se remet très-vite. Dans ces conditions, les grenouilles éclatent véritablement, avec projection de l'estomac par la bouche et des intestins par l'anus. J'ai vu, dans quelques cas, des moineaux, dont l'asphyxie était déjà fort avancée, périr soudain par une brusque décompression : ils avaient alors des gaz libres dans le cœur droit. Il y a là un sujet d'études d'une grande importance pratique, et à propos duquel je présenterai à l'Académie un travail spécial.

» J'arrive maintenant à la composition de l'air dans lequel périssent des animaux de même espèce (moineaux) aux diverses pressions; voici des résultats moyens :

	Acide carbonique.	Oxygène.
Pression normale.....	16,0	3,5
1 $\frac{1}{2}$ atmosphère.....	15,2	2,6
2 atmosphères.....	13,7	5,0
2 $\frac{1}{2}$ atmosphères.....	11,3	8,5
3 $\frac{3}{4}$ atmosphères.....	7,2	11,1
5 atmosphères.....	5,6	13,8
7 atmosphères.....	4,0	15,9
9 atmosphères.....	3,0	17,2

» On voit que, d'une manière générale, plus la pression est forte, moins l'oiseau altère l'air qu'il a à sa disposition. Cependant, c'est entre 1 et 2 atmosphères que l'oxygène est le plus épuisé, et nous verrons, dans un moment, pourquoi. Il est intéressant de voir que ces faibles augmentations de pression sont précisément celles que l'on a pu utiliser avec grand succès en thérapeutique, tandis que les pressions supérieures sont défavorables. Cette région barométrique mérite donc une attention spéciale.

» Si maintenant, considérant la composition de l'air mortel aux pressions de 2 atmosphères et au-dessus, nous cherchons à déterminer la valeur de la pression de l'acide carbonique produit pendant l'expérience, nous trouvons qu'elle a toujours été la même. En effet, 13,7 pour 100 d'acide carbonique, à 2 atmosphères, représentent, à la pression normale, $2 \times 13,7 = 27,4$; à 2 $\frac{1}{2}$ atmosphères, 11,3 pour 100 représentent $2,5 \times 11,3 = 28,25$, et, de même : $3,75 \times 7,2 = 27$; $5 \times 5,6 = 28$; $7 \times 4 = 28$; $9 \times 3 = 27$. (Le graphique exprimant ces faits est donc l'hyperbole équilatère $xy = 28$.)

» Or, si l'on met, à la pression normale, un moineau dans un litre d'un mélange de 750 centimètres cubes d'oxygène et de 250 centimètres cubes d'azote, il meurt, après avoir produit de 26 à 28 pour 100 d'acide carbo-

nique. La mort arrive évidemment, ainsi que l'a autrefois montré M. Cl. Bernard, parce que l'acide carbonique contenu dans le sang veineux ne peut plus s'échapper en traversant les poumons, à cause de la pression de l'acide carbonique de l'atmosphère.

» Nos moineaux, à diverses augmentations de pression, meurent par la même raison, car leur sang artériel et même leur sang veineux sont sursaturés d'oxygène. Nous arrivons donc à conclure que : *un moineau périt nécessairement quand il a, dans son sang veineux, une quantité d'acide carbonique capable de faire équilibre à la pression de 26 à 28 pour 100 d'acide carbonique contenu dans l'air extérieur* (mais non dans les poumons, ce qui est autre chose), quelle que soit, du reste, la quantité d'acide carbonique que contiennent l'air et le sang. Pour les mammifères, le chiffre proportionnel paraît devoir être élevé à 28 ou 30; mais, pour les reptiles, il s'abaisse à 15 ou 16, ces animaux redoutant beaucoup plus l'acide carbonique, comme je l'ai autrefois prouvé, que ne le font les animaux à sang chaud.

» On comprend maintenant pourquoi les oiseaux, dans le même récipient de 1 litre, meurent dans le même temps, quelle que soit la pression : un calcul simple montre, en effet, qu'ils meurent lorsqu'ils ont formé de 260 à 280 centimètres cubes d'acide carbonique, ce qui paraît se faire à peu près dans le même temps sous toutes les pressions. On voit également pourquoi l'air pur injecté ne les soulage pas lorsqu'ils s'asphyxient, puisque la proportion d'acide carbonique varie exactement en sens inverse de la pression, et par suite conserve la même action nuisible; au contraire, en laissant échapper de l'air, on ne change pas la proportion centésimale de l'acide carbonique de l'air, mais on diminue évidemment sa pression sur l'acide carbonique du sang.

» Il est encore facile de s'expliquer comment, entre 1 et 2 atmosphères, l'oiseau peut continuer à épuiser l'air : c'est que, à 1 $\frac{1}{2}$ atmosphère, par exemple, la pression de l'acide carbonique produit ($15,2 \times 1,5 = 22,8$) n'est pas suffisante pour le tuer à elle seule, et le manque d'oxygène joue un rôle important.

» Mais pourquoi, à 1 $\frac{1}{2}$ atmosphère, l'air est-il plus altéré qu'à la pression normale, et plus à celle-ci qu'à une pression moindre? La réponse peut se formuler d'une manière très-simple.

» Un oiseau qui meurt dans l'air à la pression normale y périt par manque d'oxygène lorsque la proportion de celui-ci s'est abaissée en moyenne à 3,5 pour 100 (les extrêmes vont de 3 à 4). Supposons que la pression soit seulement de 37 centimètres; nous avons vu que l'air devenu mortel contient, dans ce cas, 7,4 pour 100 d'oxygène; si nous écrivons la

proportion $76:37 = 7,4:x$, x représentera la valeur, à 76 centimètres de pression, de 7,4 centièmes à 37 centimètres : or $x = \frac{37 \times 7,4}{76} = 3,6$. En faisant le même calcul avec les nombres indiqués dans ma précédente Note (la moyenne des expériences donne, à 55 centimètres : oxygène, 4,6; acide carbonique, 13,4, et à 47 centimètres : oxygène, 5,5; acide carbonique, 12,4 : il y a donc là une petite correction à faire aux chiffres donnés), on trouve des nombres oscillant entre 3,3 et 3,8, c'est-à-dire ayant pour moyenne 3,5 (on aurait donc encore ici l'équation d'une hyperbole $\frac{xy}{76} = 3,5$). Nous pouvons donc dire, en résumé : *Un moineau périt nécessairement quand il n'a plus dans son sang artériel qu'une quantité d'oxygène capable de faire équilibre à la pression de 3,5 d'oxygène contenu dans l'air extérieur.* Pour les cochons d'Inde, on voit la moyenne s'abaisser à 2,5.

» Au-dessus de la pression normale, à $1 \frac{1}{2}$ atmosphère (soit 114 centimètres), par exemple, la proportion d'oxygène restant devrait être de $\frac{3,5 \times 76}{114} = 2,3$; elle est un peu plus forte, vraisemblablement parce que la pression de l'acide carbonique produit (22,8) a une importance non négligeable comme cause de la mort. Ceci montre encore une fois le grand intérêt d'une étude approfondie des pressions intermédiaires à 1 et 2 atmosphères.

» Je m'efforce de déterminer quelle est, dans le sang, cette quantité maximum d'acide carbonique qui fait équilibre à 28 d'acide dans l'air extérieur, et cette quantité minimum d'oxygène qui fait équilibre à 3,5 d'oxygène contenu dans l'air extérieur. Mais il reste dès maintenant établi que les modifications dans la proportion des gaz du sang peuvent tuer un animal de trois manières : 1° par insuffisance d'oxygène (confinement dans l'air à la pression de 1 atmosphère et au-dessous); 2° par excès d'acide carbonique (pression de 2 atmosphères et au-dessus); 3° à la fois par excès d'acide carbonique et par insuffisance d'oxygène (pressions intermédiaires entre 1 et 2 atmosphères).

» On comprend combien de questions importantes entourent ces résultats principaux; elles sont, de ma part, l'objet d'un travail assidu, et j'aurai bientôt à communiquer à l'Académie le résultat de nouvelles recherches. »

(21 août 1871.)